## 内容简介

本书主要阐述了光开关的波导和电极的分析及设计理论,优化设计了一般结构的电光开关、改进结构的电光开关、宽光谱电光开关、波长选择性电光开关、高速 电光开关、有机/无机混合波导热开关,同时给出了电光开关的时频域分析理论和 模拟方法等。

本书可作为导波光学、集成光学、光电子学、物理电子学等专业科研工作者和 工程技术人员的参考用书,同时也可作为相关专业研究生的教学用书。

## 图书在版编目(CIP)数据

聚合物光开关器件物理/郑传涛,马春生著.一合肥:中国科学技术大学出版社,2015.1

(当代科学技术基础理论与前沿问题研究丛书)

"十二五"国家重点图书出版规划项目

ISBN 978-7-312-03565-4

I. 聚… Ⅱ. ① 郑… ② 马… Ⅲ. 聚合物—电光器件—开关—物理 学 Ⅳ. TN15

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2014) 第 286196 号

出版 中国科学技术大学出版社 安徽省合肥市金寨路 96 号,230026 http://press.ustc.edu.cn

印刷 合肥市宏基印刷有限公司

发行 中国科学技术大学出版社

经销 全国新华书店

**开本** 710 mm×1000 mm 1/16

印张 25.25

字数 418 千

版次 2015 年 1 月 第 1 版

印次 2015 年 1 月第 1 次印刷

**定价** 78.00 元

序

言

20世纪中期以来,光电子学理论逐步发展和完善,各种新型光学材 料不断涌现,器件结构不断改进,集成光电子、微电子加工工艺日益进步 和成熟,这些都为新型光通信器件的制作及性能改善提供了理论基础和 工艺条件,也为大容量、高速度的光纤通信网络、光信息处理系统及光计 算机的出现和发展提供了可能性。在信息通信领域,传统的电子通信和 电交换已经无法满足人们的要求。随着信息传输容量的日益增大,信息 传输媒介由电缆转向光缆,交换方式由电交换转向光交换,传输方式由 粗波分复用转向密集波分复用,信息处理器件由电子器件转为光子器 件,并最终实现全光通信,成为互联网发展的必然趋势。

光开关与光开关阵列是光纤诵信系统中重要的光学器件,随着数据 通信和密集波分复用系统的逐步应用,复杂的网络拓扑需要更为可靠和 灵活的网络管理。在城域网和接入网应用中,密集波分复用技术对具有 插/分和交换功能的光开关的需求更加迫切。近年来,从机械光开关、微 光机电系统光开关、磁光开关、声光开关、热光开关、电光开关到全光开 关,从无机电光晶体材料光开关到新型极化聚合物电光材料光开关,从 马赫—曾德尔干涉仪(MZI)型、微环谐振(MRR)型、定向耦合器(DC) 型、数字(DOS)型、多模干涉(MMI)型到十字交叉全内反射(TIR)型,光 开关在开关机理、制作材料和器件结构等方面日益发展和完善。

作者数年来一直从事聚合物光开关方面的理论和实验研究工作,作 者所在的吉林大学聚合物光子技术实验室,多年来一直从事聚合物光波 导器件的设计和制备工作,具有较好的工作积累。作者以多年来的研究

工作为基础,编著了本书。书中所阐述的光开关器件,主要是以聚合物 材料为制备材料、以热光效应和电光效应为主要机理。本书主要阐述了 光开关的波导和电极的分析及设计理论,优化设计了一般结构的电光开 关、改进结构的电光开关、宽光谱电光开关、波长选择性电光开关、高速 电光开关、有机/无机混合波导热光开关,同时给出了电光开关的时频域 分析理论和模拟方法等。本书对每种结构的光开关器件均做了详细的 结构设计、理论分析、参数优化和性能模拟,对相关公式均做了详细的推 导和证明。书中的相关结论为实验室加工和制作该类器件提供了一定 的理论基础和相关设计数据,为改进现有器件结构上的不足、改善其性 能提供了方法依据,所给出的新型分析理论、相关公式、设计方法和优化 过程在设计和制作同类器件方面也具有一定的参考意义和借鉴价值。

全书共有8章。

ii

第1章为光开关技术基础。首先介绍光开关技术的主要应用、技术 种类和特点,然后详细介绍电光以及热光机制下的光开关技术及研究现 状,使读者能够更好地了解光开关技术,并为以后运用光波导模式理论 和微带电极理论设计和分析光开关器件打好基础。

第2章为光开关的波导结构及模式分析。针对光开关设计中所涉 及的介质吸收型和金属包层型波导结构,运用微扰法或者微分法求解其 传播常数及振幅衰减系数,简化波导结构,并分析其耦合、偏折、弯曲等 特性。本章还给出了其他几种波导的分析方法,如多模干涉波导、狭缝 波导等,为设计和制备新型光开关器件提供了理论依据。

第3章为行波电极结构及其分析理论。首先介绍了含掺杂生色团 聚合物的两种极化方法——电晕极化和接触极化,并依据电光调制理论 分析了极化聚合物的折射率变化与外加电场的关系。其次,针对所设计 的电光开关,给出了经常用到的几种共面或微带行波电极结构及其电场 分布的计算方法,包括保角变换法、镜像法、点匹配法、扩展点匹配法等。 最后,讨论了行波电极的等效模型、阻抗匹配和动态场分布等问题。

第4章为传统结构极化聚合物电光开关。主要针对传统的定向耦合结构、MZI结构、Y型耦合器结构、多节反相电极结构的电光开关,给出了各器件详细的结构模型、分析理论、相关公式和性能模拟结果。另外,通过在波导或电极方面提出一些改进或优化的结构,来增大电光耦

序 言 -

合效率、降低开关电压、增大工艺容差、减小器件尺寸、降低插入损耗和 串扰。本章给出的一些分析理论、设计方法和优化过程,可为实验室制 作和加工该类以及同类器件提供一定的理论依据和数据参考。

第5章为聚合物宽光谱电光开关。为了拓宽电光开关的输出光谱, 使之能应用于非波长选择性光片上网络(ONoC)系统,本章主要针对 MZI结构,通过分析波长变化时 MZI 电光区相移的色散特性,设计了 新型相位补偿单元,并利用其产生的非线性相位对 MZI 电光区的相移 漂移进行补偿,有效消除了波长变化导致的功率变化,从而拓宽了器件 的输出光谱范围。本章以相位发生器(PGC)为相移补偿单元并以 MZI 为基本器件结构,优化设计并模拟了多种硅基聚合物宽光谱 MZI 电光 开关,分别给出了器件的结构和光谱拓展原理,应用非线性最小均方优 化算法对器件结构做了优化,对其光谱性能做了模拟分析和讨论。

第6章为周期化波长选择性光开关。本章使用两个串行级联的 PGC补偿 MZI 区域产生的相移漂移,并通过对 PGC 结构的优化,实现 相位补偿和消光比补偿,使器件的输出端口呈现周期性输出光谱。本章 首先阐述非对称 MZI 的一般光谱周期化理论并给出相关公式。接着, 设计两种光谱周期化的非对称 MZI 波长选择性开关,对其开关性能和 光谱性能做具体模拟和分析讨论。

第7章为行波电极高速电光开关及其时频域分析。为了提高电光开 关的开关频率和开关速度,首先设计和优化了阻抗匹配型定向耦合电光开 关、阻抗匹配型 MMI-MZI 电光开关、屏蔽电极定向耦合电光开关、屏蔽 电极 Y 型耦合器电光开关和余弦级联反相 CPWG 行波电极定向耦合电 光开关。其次,针对前两种器件,给出了微元近似分析法,理论模拟了器件 的低频和高频开关响应特性;针对第三、四种器件,给出了趋肤效应特性分 析法,理论模拟了趋肤效应对器件性能的影响;针对第五种器件,给出了傅 里叶分析方法,该方法可更为准确地分析器件的时频域特性。

第8章为聚合物热光开关。本章优化设计并制备了两种有机/无机 混合结构的 MZI 热光开关,分别测试了器件的静态和动态特性。另外, 利用自主制作的含噪驱动源,实验研究了器件的容噪特性,并对相关结 果做了分析和讨论。

本书的大多内容是作者历年发表的 SCI、EI 等学术论文的内容总

İİİ

结,具有较高的学术价值和学术水平。书中对光开关的研究工作得到了 国家自然科学基金、教育部博士点基金、中国博士后科学基金等多个项 目的资助。

本书由以下科研项目经费支持出版:

 国家自然科学基金:"聚合物电光开关阵列的S+C+L超宽波段 光谱平坦化及失效模式研究"(项目负责人:郑传涛;批准号:61107021; 起止年月:2012.01.01—2014.12.31)。

 高等学校博士学科点专项科研基金(新教师类):"聚合物电光开 关阵列的S+C+L超宽波段带宽平坦化研究"(项目负责人:郑传涛;批 准号:20110061120052;起止年月:2012.01.01—2014.12.31)。

 高等学校博士学科点专项科研基金(优先发展领域课题):"聚合物 超宽波段电光路由/开关阵列及其可扩拓扑机制研究"(项目负责人:王一 丁;批准号:20120061130008;起止年月:2013.01.01—2015.12.31)。

4. 吉林省科技发展计划——青年科研基金项目:"聚合物电光路由/开关阵列及拓扑机制研究"(项目负责人:郑传涛;批准号:20130522161JH;起止年月:2013.01.01—2015.12.31)。

本书可作为导波光学、集成光学、光电子学、物理电子学等专业科研 工作者和工程技术人员的参考用书,同时也可作为相关专业研究生的教 学用书。

在本书编写及修改过程中,参阅了国内外的一些著作和学术论文, 均列于参考文献中,在此向原作者们表示由衷谢意!

本书的主要工作也得到了吉林大学聚合物光子技术实验室全体老师和同学的支持,向他们表示衷心的感谢。本书出版过程中得到了中国 科学技术大学出版社的大力支持和热情协助,在此表示诚挚的谢意!

书中难免存在一些差错和不当之处, 敬请广大读者批评指正, 并提出宝贵意见。

## 作 者 2014年5月

_	1

录

序言	······ ( j )
绪言	(1)
第1章 光开关技术	(2)
1.1 光开关技术应用	(2)
1.2 光开关技术基础	(7)
1.3 光开关技术分类	(9)
1.4 基于无机电光晶体材料的光开关技术	(14)
1.4.1 电光晶体光开关	(15)
1.4.2 电光晶体光开关阵列	(16)
1.4.3 制备工艺	(17)
1.4.4 关键技术	(18)
1.4.5 基本开关单元的性能指标	(18)
1.4.6 光开关阵列的设计关键	(19)
1.5 基于化合物半导体材料的光开关技术	(20)
1.6 基于光折变效应的光开关技术	(24)
1.7 光开关设计理论与模拟方法	(25)
1.8 基于极化聚合物材料的波导电光开关技术	(26)
1.8.1 极化聚合物电光材料	(26)
1.8.2 极化聚合物电光材料的研究进展	(29)
1.8.3 极化聚合物波导电光开关	(30)

1.9.1 SOI 热光开关 ······	(35)
1.9.2 聚合物热光开关	(37)
1.10 光开关的发展趋势	(40)
第2章 光开关的波导结构及模式分析	(42)
2.1 光波导材料的损耗表征	(42)
2.1.1 非金属介质材料的损耗表征	(42)
2.1.2 金属介质的复介电常数和光频特性	(43)
2.2 光开关的波导结构及参数	(45)
2.2.1 波导结构	(45)
2.2.2 传输模式	(46)
2.2.3 分析方法	(46)
2.3 高折射率衬底上的非对称五层平板波导	(48)
2.3.1 TM 模式的特征方程	(48)
2.3.2 衬底的泄露损耗	(51)
2.4 介质吸收型脊形波导	(53)
2.4.1 零级近似求实传播常数	(54)
2.4.2 一级近似求振幅衰减系数	(54)
2.5 单金属包层型非对称六层平板波导	(55)
2.5.1 零级近似求解 TM 模传播常数	(56)
2.5.2 一级近似求解 TM 模振幅衰减系数	(59)
2.5.3 TE模式的特性分析	(62)
2.6 双金属包层型非对称七层平板波导	(63)
2.6.1 零级近似求解 TM 模传播常数	(64)
2.6.2 一级近似求解 TM 模振幅衰减系数 ······	(67)
2.6.3 TE 模式的特性分析	(70)
2.7 金属包层型脊形波导	(71)
2.7.1 单金属包层型脊形波导的 E <sup>y</sup> m模式分析	(71)
2.7.2 单金属包层型脊形波导的 E <sup>x</sup> mn模式分析	(72)
2.7.3 双金属包层型脊形波导的 $E_{mn}^{y}$ 及 $E_{mn}^{x}$ 模式分析	(73)
2.8 脊形波导的等效分析	(73)
2.8.1 脊形波导的等效折射率分析法	(73)
2.8.2 脊形波导的近似等效光波电场分布	(74)

	2.	9 脊形	波导的耦合、偏折与弯曲	(75)
		2.9.1	脊形波导的耦合	(75)
		2.9.2	脊形波导的偏折	(77)
		2.9.3	脊形波导的弯曲	(78)
	2.	10 多材	莫干涉波导	(79)
	2.	11	维狭缝波导	(81)
		2. 11. 1	TE 模	(82)
		2.11.2	TM 模	(85)
		2.11.3	计算示例	(87)
	2.	12 三叠	维狭缝波导	(89)
		2.12.1	模式分析理论	(89)
		2.12.2	计算示例	(92)
	2.	13 本	章小结	(93)
第	3	章 行	波电极结构及其分析理论	(94)
	3.	1 极化	、聚合物薄膜及电光调制特性	(94)
		3. 1. 1	聚合物薄膜的极化	(95)
		3.1.2	电光调制理论	(96)
		3.1.3	极化聚合物的电光特性	(98)
	3.	2 非均	1匀电场作用下的电光重叠积分因子	(100)
	3.	3 行波	电极结构与特性参数	(102)
		3.3.1	行波电极结构	(102)
		3.3.2	行波电极的特性参数	(104)
	3.	4 电极	静态场的解析分析法——保角变换法	(105)
		3.4.1	保角变换原理	(106)
		3.4.2	电量平衡原理	(107)
		3.4.3	电场分布	(108)
	3.	5 共面	i波导电极的保角变换分析	(109)
		3. 5. 1	施瓦兹变换	(109)
		3. 5. 2	共面波导电极的施瓦兹变换	(111)
		3. 5. 3	电场分布	(112)
	3.	6 共面	i波导电极的镜像分析法	(113)
	3.	7 电极	静态场的数值分析法——点匹配法	(116)

\_\_\_\_\_ Vii

目

录 ———

	3.7.1	一般求解模型	(116)
	3.7.2	边界条件	(118)
	3.7.3	电场分布	(119)
3.	8 电极	静态场的数值分析法——扩展点匹配法	(120)
	3. 8. 1	单电极	(120)
	3. 8. 2	推挽异性对称双电极	(121)
	3. 8. 3	推挽同性对称双电极	(123)
3.	9 屏蔽	电极静态场的数值分析	(123)
3.	10 行法	皮电极的等效模型与阻抗匹配	(125)
	3.10.1	低开关频率的阻抗匹配	(125)
	3.10.2	高开关频率的阻抗匹配	(126)
	3.10.3	不同电极结构下的特征阻抗要求	(126)
3.	11 行注	皮电极的动态分析	(128)
3.	12 本道	章小结	(130)
第 4	章 传统	流结构极化聚合物电光开关	(132)
4.	1 共面	f波导电极定向耦合电光开关	(132)
	4.1.1	器件结构	(133)
	4.1.2	理论分析	(134)
	4.1.3	参数优化	(136)
	4.1.4	性能模拟	(140)
	4.1.5	小结	(142)
4.	2 推挽	微带行波电极定向耦合电光开关	(143)
	4.2.1	器件结构	(143)
	4.2.2	理论分析	(144)
	4.2.3	参数优化	(144)
	4.2.4	性能模拟	(148)
	4.2.5	小结	(150)
4.	3 推挽	电极 MZI 电光开关	(151)
	4.3.1	器件结构	(151)
	4.3.2	理论分析	(152)
	4.3.3	参数优化	(153)
	4.3.4	性能模拟	(155)

		4.3.5	小结	• • • • • • • • • • • • • • • • • • • •	(157)
	4.	4 两节	交替反相同	电极定向耦合电光开关	(158)
		4.4.1	器件结构		(158)
		4.4.2	理论分析		(159)
		4.4.3	参数优化		(162)
		4.4.4	性能模拟		(164)
		4.4.5	方法验证		(166)
		4.4.6	小结		(166)
	4.	5 三节	交替反相同	电极定向耦合电光开关	(167)
		4. 5. 1	器件结构		(167)
		4.5.2	理论分析		(168)
		4. 5. 3	参数优化		(171)
		4. 5. 4	性能模拟		(173)
		4. 5. 5	方法验证		(176)
		4.5.6	小结		(176)
	4.	6 单节	电极 Y 型	耦合器电光开关	(177)
		4.6.1	器件结构		(178)
		4.6.2	理论分析		(178)
		4.6.3	参数优化		(181)
		4.6.4	性能模拟		(181)
		4.6.5	方法验证		(182)
		4.6.6	小结		(183)
	4.	7 两节	反相电极	Y 型耦合器电光开关	(183)
		4.7.1	器件结构		(184)
		4.7.2	理论分析		(184)
		4.7.3	参数优化		(189)
		4.7.4	性能模拟		(190)
		4.7.5	方法验证		(191)
		4.7.6	小结		(192)
	4.	8 本章	小结		(193)
第	5	章 聚	合物宽光谱	电光开关	(194)
	5.	1 MZ	[电光开关	的一般光谱拓展原理	(195)

5.2 基于	一阶相位发生器的宽光谱非对称 MZI 电光开关	(196)
5.2.1	器件结构	(197)
5.2.2	理论分析	(198)
5.2.3	参数优化	(200)
5.2.4	性能模拟	(202)
5.2.5	方法验证	(203)
5.2.6	小结	(204)
5.3 基于	一阶相位发生器的宽光谱对称 MZI 电光开关	(204)
5.3.1	器件结构	(205)
5.3.2	理论分析	(206)
5.3.3	设计与优化	(208)
5.3.4	光谱特性及对比分析	(211)
5.3.5	小结	(213)
5.4 基于	· N 阶相位发生器的宽光谱对称 MZI 电光开关	(213)
5.4.1	器件结构和理论分析	(213)
5.4.2	参数优化	(217)
5.4.3	光谱特性模拟	(219)
5.4.4	对比分析	(224)
5.4.5	小结	(225)
5.5 基于	一阶相位发生器和双对称 MZI 的宽光谱电光开关	(225)
5.5.1	结构和分析	(225)
5.5.2	优化设计	(231)
5.5.3	光谱特性	(236)
5.5.4	小结	(240)
5.6 基于	一阶相位发生器和双非对称 MZI 的宽光谱电光开关	
		(240)
5.6.1	材料和波导的波长色散特性	(241)
5.6.2	器件结构和理论分析	(242)
5.6.3	设计和优化	(247)
5.6.4	光谱特性和对比	(250)
5.6.5	小结	(253)
5.7 本章	小结	(253)

目		录 —		
第	6	章 丿	周期化波长选择性光开关	(255)
	6.	1 A	MZI的光谱周期化理论	(256)
	6.	2 周	]期化弧形 MZI 波长选择性光开关	(257)
		6.2.1	1 材料及其波长色散特性	(258)
		6.2.2	2 器件结构及分析	(259)
		6.2.3	3 器件优化设计和性能模拟	(263)
		6.2.4	4 比较和讨论	(267)
		6.2.5	5 小结	(270)
	6.	3 周	]期化 AMZI 波长选择性电光开关	(270)
		6.3.1	1 结构设计和理论分析	(271)
		6.3.2	2 结构参数优化	(275)
		6.3.3	3 滤波和开关性能	(279)
		6.3.4	4 小结	(282)
	6.	4 本	章小结	(283)
第	7	章	行波电极高速电光开关及其时频域分析	(285)
	7.	1 微	带行波电极高速定向耦合电光开关	(286)
		7.1.1	1 结构与优化	(286)
		7.1.2	2 理论分析	(287)
		7.1.3	3 结果与讨论	(294)
		7.1.4	1 误差分析	(297)
		7.1.5	5 小结	(297)
	7.	2 行	波电极高速 MMI - MZI 电光开关	(298)
		7.2.1	L 结构与优化 ······	(298)
		7.2.2	2 时频响应特性	(303)
		7.2.3	3 方法验证	(308)
		7.2.4	4 小结	(309)
	7.	3 屏	藏行波电极高速定向耦合电光开关	(309)
		7.3.1	l 结构与优化	(309)
		7.3.2	2 趋肤效应分析	(315)
		7.3.3	3 方法验证	(321)
		7.3.4	4 小结	(323)
	7.	4 屏	上蔽行波电极高速 Y 型耦合器电光开关	(323)

\_\_\_\_\_ Xi

	7.4.1	结构和优化	(323)
	7.4.2	趋肤效应分析	(328)
	7.4.3	方法验证	(332)
	7.4.4	小结	(333)
7.	5 级联	反相 CPWG 行波电极电光开关	(333)
	7.5.1	器件结构和波导设计	(334)
	7.5.2	电极分析和优化	(336)
	7.5.3	傅里叶分析	(340)
	7.5.4	结果与讨论	(345)
	7.5.5	对比分析	(348)
	7.5.6	小结	(351)
7.	6 本章	小结	(352)
第 8	章 聚(	合物热光开关	(353)
8.	1 波导	材料的热光效应及模式有效折射率变化	(354)
	8.1.1	热光效应	(354)
	8.1.2	模式有效折射率变化	(355)
8.	2 聚合	·物/二氧化硅矩形波导热光开关	(357)
	8.2.1	器件结构及优化	(357)
	8.2.2	器件制备与表征	(359)
	8.2.3	器件性能测试	(361)
	8.2.4	小结	(363)
8.	3 聚合	·物/二氧化硅脊形波导热光开关	(364)
	8.3.1	器件结构及光谱分析	(364)
	8.3.2	器件制备与表征	(369)
	8.3.3	器件性能测试	(369)
	8.3.4	小结	(372)
8.	4 热光	开关的噪声容限特性	(372)
8.	5 本章	小结	(376)
参考	☆献⋯		(377)

- [1] Sun Y, Srivastava A K, Banerjee S, et al. Error-free transmission of 32×2.5 Gbit/s DWDM channels over 125 km using cascaded in-line semiconductor optical amplifiers [J]. Electron. Lett., 1999, 35(31): 1863-1865.
- [2] Spiekman L H, Wiesenfeld J M, Gnauck A H, et al. 8×10 Gb/s DWDM transmission over 240 km of standard fiber using a cascade of semiconductor optical amplifiers [J]. IEEE Photon. Technol. Lett., 2000, 12(8):1082-1084.
- [3] Yamada E, Takara H, Ohara T, et al. 106 channel × 10 Gbit/s, 640 km DWDM transmission with 25 GHz spacing with supercontinuum multi-carrier source [J]. Electron. Lett., 2001, 37(25): 1534-1536.
- [4] Makino T, Sotobayashi H, Chujo W. 1.5 Tbit/s (75×20 Gbit/s) DWDM transmission using Er3+-doped tellurite fibre amplifiers with 63 nm continuous signal band
   [J]. Electron. Lett., 2002, 38(24): 1502-1504.
- [5] Takara H, Masuda H, Mori K, et al. 124 nm seamless bandwidth, 313×10 Gbit/s
   DWDM transmission [J]. Electron. Lett., 2003, 39(4): 382-383.
- [6] Cho P S, Harston G, Kerr C J, et al. Investigation of 2-b/s/Hz 40-Gb/s DWDM transmission over 4×100 km SMF-28 fiber using RZ-DQPSK and polarization multiplexing [J]. IEEE Photon. Technol. Lett., 2004, 16(2): 656-658.
- Xie C J. A doubly periodic dispersion map for ultralong-haul 10-and 40-Gb/s hybrid
   DWDM optical mesh networks [J]. IEEE Photon. Technol. Lett., 2005, 17(5): 1091-1093.
- [8] Dumler U, Moller M, Bielik A, et al. 86 Gbit/s SiGe receiver module with high sensitivity for 160×86 Gbit/s DWDM system [J]. Electron. Lett., 2006, 42(1): 21-22.
- [9] Furukawa H, Wada N, Awaji Y, et al. Field trial of 160 Gbit/s DWDM-based optical packet switching and transmission [J]. Opt. Exp., 2008, 16 (15): 11487-11495.

- Yu J J, Zhou X, Huang M F, et al. 400 Gb/s(4 × 100 Gb/s) orthogonal PDM-RZ-QPSK DWDM signal transmission over 1040 km SMF-28 [J]. Opt. Exp., 2009, 17 (20): 17928-17933.
- [11] Comellas J, Conesa J, Junyent G. Design and performance analysis of a simple OXC [J]. Photon. Network Commun., 2003, 5(1): 81-88.
- Zong L, Li Y H, Zhang H Y, et al. Low crosstalk structure for integrated OXC/
   OADM in WDM optical transport networks [J]. Opt. Commun., 2001, 195(1-4):
   179-186.
- [13] Stavdas A, Avramopoulos H, Protonotarios E N, et al. An OXC architecture suitable for high density WDM wavelength routed networks [J]. Photon. Network Commun., 1999, 1(1): 77-88.
- Liaw S K, Ho K P, Lin C, et al. Experimental investigation of wavelength-tunable WADM and OXC devices using strain-tunable fiber Bragg gratings [J]. Opt. Commun., 1999, 169(1-6): 75-80.
- [15] Jenkins R B, Voigt R J. Demonstration of bidirectional add drop multiplexers and mixed signals in a DWDM mesh architecture [J]. ECOC, 2008, 5: 191-192.
- [16] Arbues P G, Machuca C M, Tzanakaki A. Comparative study of existing OADM and OXC architecture and technologies from the failure behavior perspective [J].
  J. Opt. Networking, 2007, 6(2): 123-133.
- [17] Rhee J K, TomKos I, Li M J. A broadcast-and-select OADM optical network with dedicated optical-channel protection [J]. J. Lightwave Techonol., 2003, 21(1): 25-31.
- [18] 农学勤,黄景元,何斌,等.机械式光开关市场定位及需求[J].光通信技术,2002, 26(4):15-17.
- [19] Nielson G N, Olsson R H, Resnick P R, et al. High-speed MEMS micromirror switching [J]. OSA/CLEO, 2007, 1-2.
- [20] Tsai J C, Yin C Y, Sun C W, et al. Analysis of the integrated response in a MEMS 1 × N2 wavelength-selective switch [J]. Appl. Opt., 2007, 46(16): 3227-3232.
- [21] Li V O K, Li C Y, Wai P K A. Alternative structures for two-dimensional MEMS optical switches [J]. J. Opt. Networking, 2004, 3(10): 742-757.
- [22] Cochran K R, Fan L, DeVoe D L. Moving reflector type micro optical switch for high power transfer in a MEMS-based safety and arming system [J]. J. Micromechanics and Microengineering, 2004, 14: 138-146.
- [23] Faure J P, Noirie L, Ollier E. An 8×8 all optical space-switch based on a novel MOMEMS switching module [J]. OSA/OFC, 2001, 3: WX5-1-WX5-4.

- [24] Sluijter M, de Boer D K G, Urbach H P. Simulations of a liquid-crystal-based electro-optical switch [J]. Opt. Lett., 2009, 34(1): 94-96.
- [25] Lin Y H, Yang J M, Lin Y R, et al. A polarizer-free flexible and reflective electro-optic switch using dye-doped liquid crystal gels [J]. Opt. Exp., 2008, 16 (3): 1777-1785.
- [26] Liu Y J, Sun X W, Liu J H, et al. A polarization insensitive 2×2 optical switch fabricated by liquid crystal-polymer composite [J]. Appl. Opt. Lett., 2005, 86:041115.
- [27] Wang Q, Farrell G. Integrated liquid-crystal switch for both TE and TM modes: proposal and design [J]. J. Opt. Soc. Am. A, 2007, 24(10); 3303-3308.
- [28] Densmore A, Janz S, Ma R, et al. Compact and low power thermo-optic switch using folded silicon waveguides [J]. Opt. Exp., 2009, 17(13): 10457-10465.
- [29] Song J F, Fang Q, Tao S H, et al. Fast and low power Michelson interferometer thermo-optical switch on SOI [J]. Opt. Exp., 2008, 16(20): 15304-15311.
- [30] Yuntao Li, Jinzhong Yu, Shaowu Chen, et al. Submicrosecond rearrangeable non-blocking silicon-on-insulator thermo-optic 4 × 4 switch matrix [J]. Opt. Lett., 2007, 32(6): 603-604.
- [31] Chen Y Y, Li Y P, Sun F, et al. SOI-based 16×16 thermo-optic waveguide switch matrix [J]. Chin. Phys. Lett., 2006, 23(7): 1823-1825.
- [32] Yu H, Jiang X Q, Yang J Y, et al. 2×3 thermo-optical switch utilizing total internal reflection [J]. Appl. Phys. Lett., 2006, 88(1): 011106.
- [33] Sun D G, Liu Z Y, Zhang Y, et al. Thermo-optic waveguide digital optical switch using symmetrically coupled gratings [J]. Opt. Exp., 2005, 13(14): 5463-5471.
- [34] Kanellos G T, Pleros N, Petrantonakis D, et al. 40 Gb/s 2R burst mode receiver with a single integrated SOA-MZI switch [J]. Opt. Exp., 2007, 15(8): 5043-5049.
- [35] Matsuura M, Kishi N, Miki T. Performances of a widely pulsewidth-tunable multi-wavelength pulse generator by a single SOA-based delayed interferometric switch
   [J]. Opt. Exp., 2005, 13(25): 10010-10021.
- [36] Ju H, Zhang S, Lenstra D, et al. SOA-based all-optical switch with subpicosecond full recovery [J]. Opt. Exp., 2005, 13(3): 942-947.
- [37] Li J Q, Li L, Zhao J J, et al. Ultrafast, low power and highly stably all-optical switch in MZI with two-arm-sharing nonlinear ring resonator [J]. Opt. Commun., 2005, 256(4-6); 319-325.
- [38] Ghayour R, Taheri A N, Fathi M T. Integrated Mach-Zehnder-based 2×2 all-optical switch using nonlinear two-mode interference waveguide [J]. Appl. Opt.,

2008, 47(5): 632-638.

- [39] Berrettini G, Meloni G, Bogoni A, et al. All-optical 2×2 switch based on Kerr effect in highly nonlinear optical fiber for ultrafast applications [J]. IEEE Photon. Technol. Lett., 2006, 18(23): 2439-2441.
- [40] Tian Y, Xiao X, Gao S, et al. All-optical switch based on two-pump four-wave mixing in fibers wiout a frequency shift [J]. Appl. Opt., 2007, 46(23): 5588-5592.
- [41] Campbell J C, Blum F A, Shaw D W, et al. III-8 GaAs electrooptic directional coupler switch [J]. IEEE Transactions on Electron Devices, 1975, 22 (11): 1061-1061.
- [42] Sasaki H, de La Rue R M. Electro-optic Y-junction modulator/switch [J]. Electron. Lett., 1976, 12(18): 459-460.
- [43] Papuchon M, Roy A M, Ostrowsky D B, et al. Electrically active optical bifurcation: BOA [J]. Appl. Phys. Lett., 1977, 31(4): 266-267.
- [44] Kawabe M, Hirata S, Namba S. Ridge waveguides and electra-optical switches in LiNbO<sub>3</sub> fabricated by ion-bombardment-enhanced etching [J]. IEEE Transactions on Circuit and Systems, 1979, CAS-26(12); 1109-1113.
- [45] Haruna M, Koyama J. Ridge Waveguides and Electra-Optical Switches in LiNbO, fabricated by Ion-Bombardment-Enhanced Etching [J]. J. Lightwave Technol., 1983, LT-1(1):223-227.
- [46] Mccaughan L. Low-loss polarization-independent electrooptical switches at  $\lambda = 1.3$   $\mu$ m [J]. J. Lightwave Technol., 1984, LT-2(1): 51-55.
- [47] Duthie P J, Edge C. A polarization independent guided-wave LiNbO<sub>3</sub> electrooptic switch employing polarization diversity [J]. IEEE Photon. Technol. Lett., 1991, 3(2): 136-137.
- [48] McCallion K, Johnstone W, Thursby G. Investigation of optical fiber switch using electro-optic interlays [J]. Electron. Lett., 1992, 28(4): 410-411.
- [49] Zucker J E, Jones K L, Chiu T H, et al. Strained quantum wells for polarization-Independent electrooptic waveguide switches [J]. J. Lightwave Technol., 1992, 10 (12): 1926-1930.
- [50] Tanushi Y, Wake M, Wakushima K, et al. Technology for ring resonator switches using electro-optic materials [J]. 2004 1st IEEE International Conference on Group IV Photonics, 2004, 22-24.
- [51] Schmidt R V, Buhl L L. Experimental 4×4 optical switching network [J]. Electron. Lett., 1976, 12(22): 575-576.
- [52] Knodo M, Ohta Y, Fujiwara M, et al. Integrated optical switch matrix for

single-mode fiber networks [J]. IEEE J. Quantum. Electron., 1982, QE-18(10): 1759-1765.

- [53] McCaughan L, Bogert G A. 4×4 Ti; LINbO<sub>3</sub> integrated-optical crossbar switch array [J]. Appl. Phys. Lett., 1985, 47(4); 348-350.
- [54] Bogert G, Murphy E, Ku R. Low crosstalk 4×4 Ti: LiNbO<sub>3</sub> optical switch with polarization attached polarization maintaining fiber array [J]. J. Lightwave Technol., 1986, 4(10):1542-1545.
- [55] Granestrand P, Stoltz B, Thylen L, et al. Strictly nonblocking 8×8 integrated optical switch matrix [J]. Electron. Lett., 1986, 22(15): 816-818.
- [56] Duthie P J, Wale M J. 16×16 single chip optical switch array in Lithium Niobate
   [J]. Electron. Lett., 1991, 27(14): 1265-1266.
- [57] Okayama H, Kawahara M. Ti: LiNbO<sub>3</sub> digital optical switch matrices [J]. Electron. Lett., 1993, 29(9): 765-766.
- [58] Okayama H, Kawahara M. Prototype 32×32 optical switch matrx [J]. Electron. Lett., 1994, 30(14): 1128-1129.
- [59] Alferness R C. Polarization independent optical directional coupler switch using weighted coupling [J]. Appl. Phys. Lett., 1979, 35(10): 748-750.
- [60] Silberberg Y, Perlmutter P, Baran J E. Digital optical switch [J]. Appl. Phys. Lett., 1987, 51(16): 1230-1232.
- [61] Leonberger F J, Donnelly J P, Bozler C O. IIA-4 GaAs p + n-n + directional couplers and electrooptic switches [J]. IEEE Transactions on Electron Devices, 1976, 23(11): 1250-1250.
- [62] Komatsu K, Hamamoto K, Sugimoto M, et al.  $4 \times 4$  GaAs/AlGaAs optical matrix switches with uniform device characteristics using alternating  $\Delta\beta$  electrooptic guided-wavedirectional couplers [J]. J. Lightwave Technol., 1991, 9(7): 871-878.
- [63] Hamamoto K, Anan T, Komatsu K, et al. First 8×8 semiconductor optical matrix switches using GaAs/AlGaAs electro-optic guided-wave directional couplers [J]. Electron. Lett., 1992, 28(5): 441-443.
- [64] Li C, Luo X, Poon A W. Dual-microring-resonator electro-optic logic switches on a silicon chip [J]. Semiconductor Sci. Technol., 2008, 23: 064010.
- [65] 王明华, 戚伟, 余辉, 等. 基于化合物半导体材料高速光开关的研究 [J]. 科学通报, 2009, 54(20): 3040-3045.
- [66] Campenhout J V, Green W M J, Assefa S, et al. Low-power, 2 × 2 silicon electro-optic switch with 110-nm bandwidth for broadband reconfigurable optical networks [J]. Opt. Exp., 2009, 17(26): 24020-24029.

- [67] Dong P, Liao S, Liang H, et al. Submilliwatt, ultrafast and broadband electro-optic silicon switches [J]. Opt. Exp., 2010, 18(24): 25225-25231.
- [68] Campenhout J V, Green W M J, Assefa S, et al. Drive-noise-tolerant broadband silicon electro-optic switch[J]. Opt. Exp., 2011, 19(12): 11568-11577.
- [69] Honma S, Okamoto A, Takayama Y. Photorefractive duplex two-wave mixing and all-optical deflection switch [J]. J. Opt. Soc. Am. B, 2001, 18 (7):974-981.
- [70] Yan X, Liu L. Photorefractive switch controlled by polarized effect [J]. Acta Optica Sinica, 1999, 19 (7): 1003-1005.
- [71] Yan X, Liu L. Theory of anistropic-diffraction based photorefractive switch [J]. Acta Optica Sinica, 2001, 21(10):1249-1252.
- [72] Song Z, Liu L R, Ren H X, et al. Electro-optic bypass-exchange switch integrated in a single LiNbO<sub>3</sub> crystal [J]. J. Opt. A: Pure Appl. Opt., 2004, 6(2): 229-234.
- [73] Zuo Y, Bahamin B, Tremblay E J, et al. 1×2 and 1×4 Electrooptic Switches [J].IEEE Photon. Technol. Lett., 2005, 17(10):2080-2082.
- [74] Goldhar J, Henesian M A. Large-aperture electrooptical switches with plasma electrodes [J]. IEEE J. Quantum. Electrom., 1986, QE22(7): 1137-1147.
- [75] Eimerl D. Thermal aspects of high-average-power electrooptic switches [J]. IEEEJ. Quantum. Electrom., 1987, QE23(12): 2238-2251.
- [76] Yoon D W, Eknoyan O, Taylor H F. Polarization-independent LiTa03 guided-wave electrooptic switches [J]. J. Lightwave Technol., 1990, 8(2): 160-163.
- [77] Wongcharoen T, Azizur Rahman B M, Grattan K T V. Electro-optic directional coupler switch characterization [J]. J. Lightwave Technol., 1997, 15 (2): 377-382.
- [78] Chakraborty R, Biswas J C, Lahiri S K. Analysis of directional coupler electro-optic switches using effective-index-based matrix method [J]. Opt. Commun., 2003, 219(1-6): 157-163.
- [79] 马慧莲,杨建义,江晓清,等. MMI 型 GaAs 1×N 和 N×N 集成光学开关的研制 [J]. 半导体光电,2000,21(6):384-388.
- [80] 周海峰,江晓清,杨建义,等.具有单一复合调制区的多模干涉效应耦合器1×3光 开关的分析[J].光学学报,2007,27(9):1691-1694.
- [81] 肖彩侠,李锡华,周强,等. LiNbO<sub>3</sub> 1×2 非对称电极 Y 分叉数字光开关的研究[J].光通信研究,2007,33(5):50-52.
- [82] Meredith G R, VanDusen J G, Williams D J. Optical and nonlinear optical characterization of molecularly doped thermotropic liquid crystalline polymers [J]. Macromolecules, 1982, 15(5): 1385-1389.

- [83] Garito A F, Singer K D. Organic crystals and polymers-a new class of nonlinear optical materials [J]. Laser Focus, 1982, 18(2): 59-64.
- [84] Kim T D, Luo J D, Ka J, et al. Ultra-large and thermally stable electro-optic activities from Diels-Alder crosslinkable polymers containing binary chromophore systems [J]. Adv. Mater., 2006, 18(22): 3038-3042.
- [85] Enami Y, DeRose C T, Loychik C, et al. Low half-wave voltage and high electro-optic effect in hybrid polymer/sol-gel waveguide modulators [J]. Appl. Phys. Lett., 2006, 89(14):143506.
- [86] Shi Y, Lin W, Olson D J, et al. Electro-optic polymer modulators with 0.8 V halfwave voltage [J]. Appl. Phys. Lett., 2000, 77(1): 1-3.
- [87] Shi Y, Zhang C, Zhang H, et al. Low (sub-1-volt) halfwave voltage polymeric electro-optic modulators achieved by controlling chromophore shape [J]. Science, 2000, 288(4): 119-122.
- [88] Zhang C, Dalton L R, Oh M C, et al. Low V<sub>π</sub> electro-optic modulators from CLD 1: Chromophore design and synthesis, material processing, and characterization
   [J]. Chem. Mater., 2001, 13(9): 3043-3050.
- [89] Oh M C, Zhang H, Szep A, et al. Electro-optic polymer modulators for 1.55 mm wavelength using phenyltetraene bridged chromophore in polycarbonate [J]. Appl. Phys. Lett., 2000, 76(24): 3525-3527.
- [90] Zhang H, Oh M C, Szep A, et al. Push-pull electro-optic polymer modulators with low half-wave voltage and low loss at both 1310 and 1550 nm [J]. Appl. Phys. Lett., 2001, 78(20): 3136-3138.
- [91] Park S, Ju J J, Park S K, et al. Thermal relaxation trimming for enhancement of extinction ratio in electro-optic polymer Mach-Zehnder modulators [J]. Appl. Phys. Lett., 2005, 86(7): 071102.
- [92] Enami Y, Derose C T, Mathine D, et al. Hybrid polymer/sol-gel waveguide modulators with exceptionally large electro-optic coefficients [J]. Nature Photon., 2007, 1(3): 180-185.
- [93] Thackara J I, Chon J C, Bjorklund G C, et al. Polymeric electro-optic Mach-Zehnder switches [J]. Appl. Phys. Lett., 1994, 67(26): 3874-3876.
- [94] Han S G, Lee H J, Lee M H, et al. High performance 2×2 polymeric electro-optic switch with modified bifurcation optically active waveguide structure [J]. Electron. Lett., 1996, 32(21): 1994-1995.
- [95] Hwang W Y, Oh M C, Lee H M, et al. Polymeric 2×2 electrooptic switch consisting of asymmetric Y junctions and Mach-Zehnder interferometer [J]. IEEE Pho-

ton. Technol. Lett., 1997, 9(6):761-763.

- [96] Lee M H, Min Y H, Ju J J, et al. Polymeric electrooptic 2×2 switch consisting of bifurcation optical active waveguides and a Mach-Zehnder interferometer[J]. IEEE J. Selected Topics in Quantum Electron., 2001, 7(5); 812-818.
- [97] Shi W, Ding Y J, Fang C S, et al. Single-mode rib polymer waveguides and electro-optic polymer waveguide switches [J]. Opt. Laser Eng., 2002, 38(6): 361-371.
- [98] Thapliya R, Nakamura S, Kikuchi T. High speed electro-optic polymeric waveguide devices with low switching voltages and thermal drift [C]. OFC/NFOEC, 2008, OMJ1.
- [99] Lee S S, Shin S Y. Polarisation-insensitive digital optical switch using an electro-optic polymer rib waveguide [J]. Electron. Lett., 1997, 33(4): 314-316.
- [100] Yuan W, Kim S, Sadowy G, et al. Polymeric electro-optic digital optical switches with low switching voltage [J]. Electron. Lett., 2004, 40(3): 195-197.
- [101] Yuan W, Kim S, Steier W H, et al. Electrooptic polymeric digital optical switches
   (DOSs) with adiabatic couplers [J]. IEEE Photon. Technol. Lett., 2005, 17
   (12): 2568-2570.
- [102] Yuan W, Kim S, Fetterman H R, et al. Hybrid integrated cascaded 2-bit electro-optic digital optical switches (DOSs) [J]. IEEE Photon. Technol. Lett., 2007, 19(7); 519-521.
- [103] Enami Y, Mathine D, DeRose C T, et al. Hybrid electro-optic polymer/sol-gel waveguide directional coupler switches [J]. Appl. Phys. Lett., 2009, 94 (21): 213513.
- [104] Xiao S M, Wang F, Wang X, et al. Electro-optic polymer assisted optical switch based on silicon slot structure [J]. Opt. Commun., 2009, 282(13): 2506-2510.
- [105] Enami Y, Luo J, Jen A K Y. Short hybrid polymer/sol-gel silica waveguide switches with high in-device electro-optic coefficient based on photostable chromophore [J]. AIP Advances, 2011, 1(4): 042137.
- [106] 胡国华, 恽斌峰, 嵇阳, 等. 非对称马赫一曾德尔干涉型低串扰聚合物光开关 [J].
   光电子·激光, 2009, 20(12): 1592-1594.
- [107] 鲍俊峰,吴兴坤.一种定向耦合器型高聚物光开关设计 [J].光子学报,2005,34(3):361-364.
- Zheng C T, Ma C S, Yan X, et al. Design of a polymer directional coupler electro-optic switch with low push-pull switching voltage at 1550 nm [J]. Chin. J. Semiconductors, 2008, 29(11): 2197-2203.

- [109] 郑传涛,马春生,闫欣,等.聚合物脊形波导定向耦合电光开关的电极优化[J].半导体光电,2009,30(1):28-33.
- [110] 闫欣,马春生,王现银,等.聚合物定向耦合电光开关的模拟和优化[J].光子学 报,2008,37(11):2145-2149.
- [111] 闫欣,马春生,陈宏起,等.聚合物微环谐振器电光开关阵列的优化与模拟[J]. 光学学报,2009,29(9):2640-2545.
- [112] 闫欣,马春生,陈宏起,等.1×N 信道聚合物微环谐振器电光开关阵列的开关特性[J].光子学报,2009,38(8):1914-1919.
- [113] 闫欣,马春生,郑传涛,等.聚合物串联耦合双环电光开关的模拟和优化 [J].光 子学报,2009,38(7):1687-1691.
- [114] Haruna M, Koyama J. Thermooptic deflection and switching in glass [J]. Appl. Opt., 1982, 21(19): 3461-3465.
- [115] Haruna M, Koyama J. Thermo-optic effect in LiNbO<sub>3</sub> for light deflection and switching [J]. Electron. Lett., 1981, 17(22): 842-844.
- [116] Cariou J M, Dugas J, Martin L, et al. Refractive-index variations with temperature of PMMA and polycarbonate [J]. Appl. Opt., 1986, 25(3): 334-336.
- [117] Diemeer M B J, Brons J J, Trommel E S. Polymeric optical waveguide switch using the thermooptic effect [J]. J. Lightwave Technol., 1989, 7(3): 449-453.
- [118] Keil N, Yao H H, Zawadzki C, et al. 4×4 polymer thermo-optic directional coupler switch at 1.55µm [J]. Electron. Lett., 1994, 30(8): 639-640.
- [119] Harjanne M, Kapulainen M, Aalto T, et al. Sub-s switching time in silicon-on-insulator Mach-Zehnder thermooptic switch [J]. IEEE Photon. Technol. Lett., 2004, 16(9): 2039-2041.
- [120] Shoji Y, Kintaka K, Suda S, et al. Low-crosstalk 2 × 2 thermo-optic switch with silicon wire waveguides [J]. Opt. Exp., 2010, 18(9): 9071-9075.
- [121] Fang Q, Song J F, Liow T Y, et al. Ultralow power silicon photonics thermo-optic switch with suspended phase arms [J]. IEEE Photon. Technol. Lett., 2011, 23(8): 525-527.
- [122] Hida Y, Onose H, Imamura S. Polymer waveguide thermooptic switch with low electric power consumption at 1.3µm [J]. IEEE Photon. Technol. Lett., 1993, 5 (7): 782-784.
- [123] Hu G, Yun B, Ji Y, et al. Crosstalk reduced and low power consumption polymeric thermo-optic switch[J]. Opt. Commun., 2010, 283(10): 2133-2135.
- [124] Kim S K, Cha D H, Pei Q B, et al. Thermo-optic total-internal-reflection and strain-effect[J]. IEEE Photon. Technol. Lett., 2010, 22(4): 197-199.

- [125] Al-hetar A M, Mohammad A B, Supa'at S M A, et al. Fabrication and characterization of polymer thermo-optic switch based on mmi coupler [J]. Opt. Commun., 2011, 284 (5): 1181-1185.
- [126] Xie N, Hashimoto T, Utaka K. Very low-power, polarization-independent, and high-speed polymer thermooptic switch [J]. IEEE Photon. Technol. Lett., 2009, 21(24): 1861-1863.
- Gao L, Sun J, Sun X, et al. Low switching power 2×2 thermo-optic switch using direct ultraviolet photolithography process [J]. Opt. Commun., 2009, 282(20): 4091-4094.
- [128] 马春生,刘式墉.光波导模式理论 [M].长春:吉林大学出版社,2006.
- [129] 刘式墉. 半导体集成光学 [M]. 长春: 吉林大学出版社, 1986.
- [130] Tamir T. Integrated Optics [M]. New York: Springer-Verlag, 1975.
- [131] 马春生,刘式墉. 脊形波导中导模传输与损耗的分析与计算[J]. 光学学报, 1989, 9(1): 38-42.
- [132] 马春生,刘式墉. MOS 型波导光学特性分析 [J]. 半导体学报, 1989, 10(4): 249-253.
- [133] Ma C S, Cao J. TM mode optical characteristics of five-layer MOS optical waveguides [J]. Opt. Quantum Electron., 1994, 26(8): 877-884.
- [134] Marcatili E A J. Dielectric rectangular waveguide and directional coupler for integrated optics [J]. Bell Syst. Technol. J., 1969, 48(7): 2071-2102.
- [135] 叶培大,吴彝尊.光波导技术基本理论 [M].北京:人民邮电出版社,1981.
- [136] Ramer O G. Integrated optic electrooptic modulator electrode analysis [J]. IEEE.J. Quantum Electron., 1982, 18(3): 386-392.
- [137] Sabatier C, Caquot E. Influence of a dielectric buffer layer on the field distribution in an electrooptic guided-wave device [J]. IEEE. J. Quantum Electron., 1986, 22(1): 32-37.
- [138] Marcuse D. Electrostatic field of coplanar lines computed with the point-matching method [J]. IEEE. J. Quantum Electron., 1989, 25(5): 939-947.
- [139] Bates R H T. The theory of the point-matching method for perfectly conducting waveguides and transmission lines [J]. IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques, 1969, MTT-17(6); 294-301.
- [140] Kosslowski S, Bogelsack F, Wolff I. The application of the point matching method to the analysis of microstrip lines with finite metallization thickness [J]. IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques, 1988, 36(8): 1265-1271.
- [141] Yamashita E, Nishino Y, Atsuki K. Analysis of multiple dielectric waveguide sys-

tems with extended point-matching method [J]. Microwave Symposium Diqest, MTT-S International, 1983, 83(1): 119-121.

- [142] 黄成功,陈福森. 电晕极化电光聚合物调制器的制备研究 [J]. 高分子通报, 2007, (8): 7-10.
- [143] 杨建义,江晓清,王明华.基于接触式极化法的 M-Z 型聚合物电光调制器 [J].光 电子・激光,2002,13(9):897-899.
- [144] 曹庄琪. 导波光学 [M]. 北京: 科学出版社. 2007.
- [145] Zheng C T, Ma C S, Yan X, et al. Simulation and optimization of a polymer directional coupler electro-optic switch with push-pull electrodes [J]. Opt. Commun., 2008, 281(14); 3695-3702.
- [146] 陈福深.集成电光调制理论与技术 [M].北京:国防工业出版社.1995.
- [147] 李瀚荪. 电路分析基础 [M]. 北京:高等教育出版社,1992.
- [148] Jin H, Vahldieck R, Belanger M, et al. A mode projecting method for the quasistatic analysis of electrooptic device electrodes considering finite metallization thickness and anisotropic substrate [J]. IEEE J. Quantum Electron., 1991, 27 (10): 2306-2314.
- [149] Gan X Y, Liu Y Z. Computation of microwave attenuation on coplanar waveguide
   (CPW) with complicated cross-Section [J]. Int. J. Infrared. Millimeter Waves,
   2003, 24(8): 1393-1402.
- [150] Pantic Z, Mittra R. Quasi-TEM analysis of microwave transmission lines by the finite-element method [J]. IEEE Tran. Microw. Theory Technol., 1986, 34(11): 1096-1103.
- [151] Zhu N H, Wei Q, Pun E Y B, et al. Analysis of velocity-matched Ti: LiNbO<sub>3</sub> optical intensity modulators with an extended point-matching method [J]. Opt. Quantum. Electron., 1996, 28(2): 137-146.
- [152] Enami Y, Mathine D, Derose C T, et al. Hybrid cross-linkable polymer/sol-gel waveguide modulators with 0.65 V half wave voltage at 1550 nm [J]. Appl. Phys. Lett., 2007, 91(9): 093505.
- [153] Pitois C, Vukmirovic C, Hult A. Low-loss passive optical waveguides based on photo-sensitive poly pentafluorostyrene-coglycidyl methacrylate [J]. Macromolecules, 1999, 32(9): 2903-2909.
- [154] Driscoll W G, Vaughan W. Handbook of Optics [M]. New York: McGraw-Hill, 1978.
- [155] Shacham A, Bergman K, Carloni L P. Photonic networks-on-chip for future generations of chip multiprocessors [J]. IEEE Trans. Comput., 2008, 57 (9):

1246-1260.

- [156] Ahn J, Fiorentino M, Beausoleil R G, et al. Devices and architectures for photonic chip-scale integration [J]. Appl. Phys. A, 2009, 95(4): 989-997.
- Batten C, Joshi A, Orcutt J, et al. Building Many-Core Processor-to-DRAM Networks with Monolithic CMOS Silicon Photonics [J]. IEEE Micro, 2009, 29(4): 8-21.
- [158] Krishnamoorthy A V, Ho R, Zheng X Z, et al. Computer Systems Based on Silicon Photonic Interconnects [J]. Proc. IEEE, 2009, 97(7): 1337-1361.
- [159] Vlasov Y, Green W M J, Xia F. High-throughput silicon nanophotonic wave-length-insensitive switch for on-chip optical networks [J]. Nat. Photon., 2008, 2 (4): 242-246.
- Lee B G, Biberman A, Dong P, et al. All-optical comb switch for multiwavelength message routing in silicon photonic networks [J]. IEEE Photon. Technol. Lett., 2008, 20(9-12): 767-769.
- [161] Takahashi K, Kanamori Y, Kokubun Y, et al. A wavelength-selective add-drop switch using silicon microring resonator with a submicron-comb electrostatic actuator [J]. Opt. Express, 2008, 16(19): 14421-14428.
- [162] Lu Y, Yao J, Li X, et al. Tunable asymmetrical Fano resonance and bistability in a microcavity-resonator-coupled Mach-Zehnder interferometer [J]. Opt. Lett., 2005, 30(22): 3069-3071.
- [163] Absil P P, Hryniewicz J V, Little B E, et al. Compact microring notch filters [J].IEEE Photon. Technol. Lett., 2000, 12(4): 398-400.
- [164] Tazawa H, Steier W H. Bandwidth of linearized ring resonator assisted Mach-Zehnder modulator [J]. IEEE Photon. Technol. Lett., 2005, 17(9): 1851-1853.
- [165] Paloczi G T, Huang Y, Yariv A. Polymeric Mach-Zehnder interferometer using serially coupled microring resonators [J]. Opt. Exp., 2003, 11(21): 2666-2671.
- [166] Kohtoku M, Oku S, Kadota Y, et al. 200-GHz, FSR periodic multi/demultiplexer with flattened transmisson and rejection band by using a Mach-Zehnder interferometer with a ring resonator [J]. IEEE Photon. Technol. Lett., 2000, 12 (9): 1174-1176.
- Zhou L, Poon A W. Fano resonance-based electrically reconfigurable add-drop filters in silicon microring resonator-coupled Mach-Zehnder interferometers [J].
   Opt. Lett., 2007, 32(7): 781-783.
- [168] Holzwarth C W, Khilo A, Dahlem M, et al. Device architecture and precision nanofabrication of microring-resonator filter banks for integrated photonic systems

[J]. J. Nanoscience Nanotechnology, 2010, 10(3): 2044-2052.

- [169] Kato T, Kokubun Y. Bessel-thompson filter using double-series-coupled microring resonator [J]. J. Lightwave Technol., 2008, 26(22): 3694-3698.
- [170] Maru K, Fujii Y. Reduction of chromatic dispersion due to coupling for synchronized-router-based flat-passband filter using multiple-input arrayed waveguide grating [J]. Opt. Exp., 2009, 17(24): 22260-22270.
- [171] An J M, Li J, Li J Y, et al. Novel triplexing-filter design using silica-based direction coupler and an arrayed waveguide grating [J]. Opt. Eng., 2009, 48(1): 014601.
- [172] Luo A P, Luo Z C, Xu W C, et al. Wavelength switchable flat-top all-fiber comb filter based on a double-loop Mach-Zehnder interferometer [J]. Opt. Exp., 2010, 18(6): 6056-6063.
- [173] Fu H Y, Zhu K, Ou H Y, et al. A tunable single-passband microwave photonic filter with positive and negative taps using a fiber Mach-Zehnder interferometer and phase modulation [J]. Opt. Laser Technol., 2010, 42(1): 81-84.
- [174] Huang H M, Ho S T, Huang D X, et al. Slot-waveguide-assisted temperature-independent Mach-Zehnder interferometer based optical filter [J]. J. Mod. Opt., 2010, 57(7): 545-551.
- [175] Huang Y L, Li J, Ma X R, et al. High extinction ratio Mach-Zehnder interferometer filter and implementation of single-channel optical switch [J]. Opt. Commun., 2003, 222(1-6): 191-195.
- [176] 谢处方,饶克谨. 电磁场与电磁波[M]. 北京:高等教育出版社,1999.
- [177] Zhang H, Oh M C, Szep A, et al. Push-pull electro-optic polymer modulators with low half-wave voltage and low loss at both 1310 and 1550 nm [J]. Appl. Phys. Lett., 2001, 78(20): 3136-3138.
- [178] 任登娟, 陈名松, 黄雪明. 行波型 LiNbO<sub>3</sub> 电光调制器的电极优化设计 [J]. 光通 信研究, 2007, 33(5): 47-49.
- [179] Zheng C T, Luo Q Q, Liang L, et al. Fourier modeling and numerical characterization on a high-linear bias-free polymer push-pull poled Y-fed coupler electro-optic modulator[J]. IEEE J Quantum Electron., 2013, 49(8): 652-660.
- [180] Kasahara R, Watanabe K, Itoh M, et al. Extremely low power consumption thermooptic switch (0.6 mW) with suspended ridge and silicon-silica hybrid waveguide structures [C]. 34th European Conference on Optical Communication, 2008, 1-2.
- [181] Al-hetar A M, Mohammad A B, Supa'at A S M, et al. MMI-MZI polymer thermo-optic switch with a high refractive index contrast [J]. J. Lightwave Technol.,

2011, 29(2): 171-178.

- [182] Keil N, Yao H H, Zawadzki C. Hybird polymer/silica vertical coupler switch with <-32 dB polarization independent crosstalk [J]. Electron. Lett., 2001, 37(2): 89-90.
- [183] Sun X Q, Chen C M, Wang F, et al. A multimode interference polymer-silica hybrid waveguide 2×2 thermo-optic switch [J]. Opt. Appl., 2010, 40(3): 737-745.
- [184] Coppola G, Sirleto L, Rendina I, et al. Advance in thermo-optical switches: principles, materials, design, and device structure [J]. Opt. Eng., 2011, 50 (7): 071112.
- [185] EL-BAWAB T S. Optical Switching [M]. New York: Springer Science + Business Media, 2006.
- [186] Havinga E E. The temperature dependence of dielectric constants [J]. J. Phys. Chem. Solids, 1961, 18 (2): 253-255.
- [187] Bosman A J, Havinga E E. Temperature dependence of dielectric constants of cubic ionic compounds [J]. Phys. Review, 1963, 129 (4): 1593-1600.
- [188] Yu P Y, Cardona M. Fundamental of Semiconductor [M]. Berlin: Springer, 1996.
- [189] Born M, Wolf E. Principles of Optics [M]. Cambridge: Cambridge University Press, 1999.
- [190] Palik E D. Handbook of Optical Constants of Solids [M]. San Diego: Academic Press, 1985.
- [191] Lee M, Katz H E, Erben C, et al. Broadband Modulation of Light by Using an Electro-Optic Polymer [J]. Science, 2002, 298(5597): 1401-1403.
- [192] Michel S, Zyss J, Ledoux-Rak I, et al. High-performance electro-optic modulators realized with a commercial side-chain DR1-PMMA electro-optic copolymer
   [C]. Proceedings of SPIE, 2010, 7599. 7599-01.
- [193] Yan Y F, Zheng C T, Sun X Q, et al. Fast response 2 × 2 thermo-optic switch with polymer/silica hybrid waveguide [J]. Chin. Opt. Lett., 2012, 10 (9): 092501.
- Yan Y F, Zheng C T, Liang L, et al. Response-time improvement of a 2×2 thermo-optic switch with polymer/silica hybrid waveguide [J]. Opt. Commun., 2012, 285(18): 3758-3762.
- [195] Liang L, Qv L C, Zhang L J, et al. Fabrication and characterization on an organic/inorganic 2 × 2 Mach-Zehnder interferometer thermo-optic switch [J]. Photonics and Nanostructures-Fundamentals and Applications, 2014, 12(2): 173-183.